

Análisis preliminar de la ciclicidad en la sección continental FP-1 (Plioceno-Pleistoceno, Cuenca de Guadix, Cordillera Bética)

Preliminar analysis of the cyclicity in the continental section FP-1 (Pliocene-Pleistocene, Guadix Basin, Betic Cordillera)

S. Pla ^(1,2), C. Viseras ⁽²⁾, J.M. Soria ⁽³⁾, M. Garcés ⁽⁴⁾ y A. Arribas ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. s.pla@igme.es; a.arribas@igme.es

⁽²⁾ Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, Av. Fuentenueva s/n, 18071 Granada. viseras@ugr.es

⁽³⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Alicante, Ap. 99-03080 Alicante. jesus.soria@ua.es

⁽⁴⁾ Departamento Estratigrafía, Paleontología y Geociencias Marinas, Facultad de Geología, Campus de Pedralbes, UB. 08028 Barcelona. mgarcés@ub.edu

ABSTRACT

A detailed cyclostratigraphic and paleomagnetic study was carried out on the cyclically bedded succession of Pliocene and Pleistocene floodplain deposits FP-1 (Guadix Basin, Spain). Sedimentary cycles are recognised at least on two different scales. The hierarchy is interpreted to represent periodic alluvial fan expansion over the floodplain area. The cyclicity is affected by a change in the sedimentary conditions aged 1.778 Ma, coinciding with the boundary between the two most modern genetic units of the Guadix Basin continental filling (unit V and unit VI). The aim of this work is to discuss the possibility of relating the cyclicity of the sediments from the FP-1 section with the astronomical cycles of Milankovitch.

Key words: Guadix Basin, cyclostratigraphy, Pliocene-Pleistocene, continental sedimentation, magnetostratigraphy.

Geogaceta, 44 (2008), 215-218
ISSN: 0213683X

Introducción

La teoría astronómica de los cambios climáticos, que relaciona las oscilaciones climáticas con perturbaciones en la órbita de la Tierra (Milankovitch, 1941) está actualmente aceptada en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. Aunque en un principio se utilizó para determinar ciclicidades astronómicas en sedimentos marinos, en los últimos años se ha aplicado con éxito en materiales continentales cíclicos que presentan continuidad en su registro (Abdul Aziz *et al.*, 2000, 2004; Deino *et al.*, 2006; Steenbrink *et al.*, 2006, entre otros). Para entender el clima terrestre en el pasado es fundamental incluir el registro continental en un marco estratigráfico datado astronómicamente (Abdul Aziz *et al.*, 2000). Hasta hace poco tiempo, el papel de las variaciones climáticas inducidas astronómicamente en el depósito de ciclos sedimentarios en ambientes continentales ha sido frecuentemente subestimado, ya que a menudo estos cambios han sido relacionados con procesos tales como la tectónica y los cambios del nivel de base. En el área mediterránea aparecen sucesiones continentales largas y continuas, con un control temporal directo y preciso, en las que se han usado con éxito las escalas de tiempo astronómico para relacionar la ciclicidad con procesos de ori-

gen orbital (Abdul Aziz *et al.*, 2000, 2004; Krijgsman *et al.*, 1994, 1997).

En este trabajo presentamos los resultados de un estudio integrado cicloestratigráfico y magnetoestratigráfico de los depósitos fluvio-lacustres de llanura de inundación en la sección FP-1, en el relleno continental de la Cuenca de Guadix. La correlación de nuestra sección con la escala de polaridad geomagnética (EPTG 2004, Lourens *et al.*, 2004) ha proporcionado un control de la edad de primer orden que nos ha permitido plantear la posibilidad de un origen alocíclico para la ciclicidad sedimentaria presente en la sección FP-1, con objeto de interpretar esta ciclicidad en términos de variaciones climáticas.

Contexto geológico

La Cuenca de Guadix (Fig. 1) está situada al Sur de la Península Ibérica, y es una de las cuencas neógenas más extensas de la Cordillera Bética. Se localiza en el sector central de la misma, fosilizando el antiguo contacto entre las Zonas Internas, o Bloque de Alborán, y las Zonas Externas, correspondientes al Paleomargen Sudibérico (Viseras *et al.*, 2004, 2005).

El relleno sedimentario de la Cuenca de Guadix se divide en seis unidades genéticas (Fernández *et al.*, 1996). Las unidades I, II

y III corresponden a una primera etapa de relleno marino (Tortonense superior), mientras que las unidades IV, V y VI se atribuyen a una segunda etapa, de relleno continental (Tortonense superior-Pleistoceno superior). Durante esta segunda etapa, la cuenca presentaba un régimen endorreico, con un gran lago somero que actuaba como nivel de base local situado en el sector oriental, y tres sistemas de drenaje principales bien desarrollados en el sector occidental: un sistema fluvial longitudinal, denominado Sistema Axial (SA), y dos sistemas transversales de abanicos aluviales, denominados Sistema Transversal Interno (STI) y Sistema Transversal Externo (STE) en función del dominio geológico de la cordillera donde tenían su área fuente. Los depósitos de la llanura de inundación del valle axial albergan la mayor parte de los yacimientos importantes de grandes mamíferos que aparecen en el sector occidental de la cuenca, entre los cuales destaca el yacimiento Fonelas P-1 (Arribas y Garrido, 2007; Garrido, 2006; Pla, 2006; Pla *et al.*, 2006; Viseras *et al.*, 2006). En la vertical de este yacimiento se ha levantado el perfil estratigráfico FP-1, en el que se centra este trabajo. El objetivo de este estudio es caracterizar la ciclicidad presente en los materiales del sector central de la Cuenca de Guadix y plantear su posible relación con las

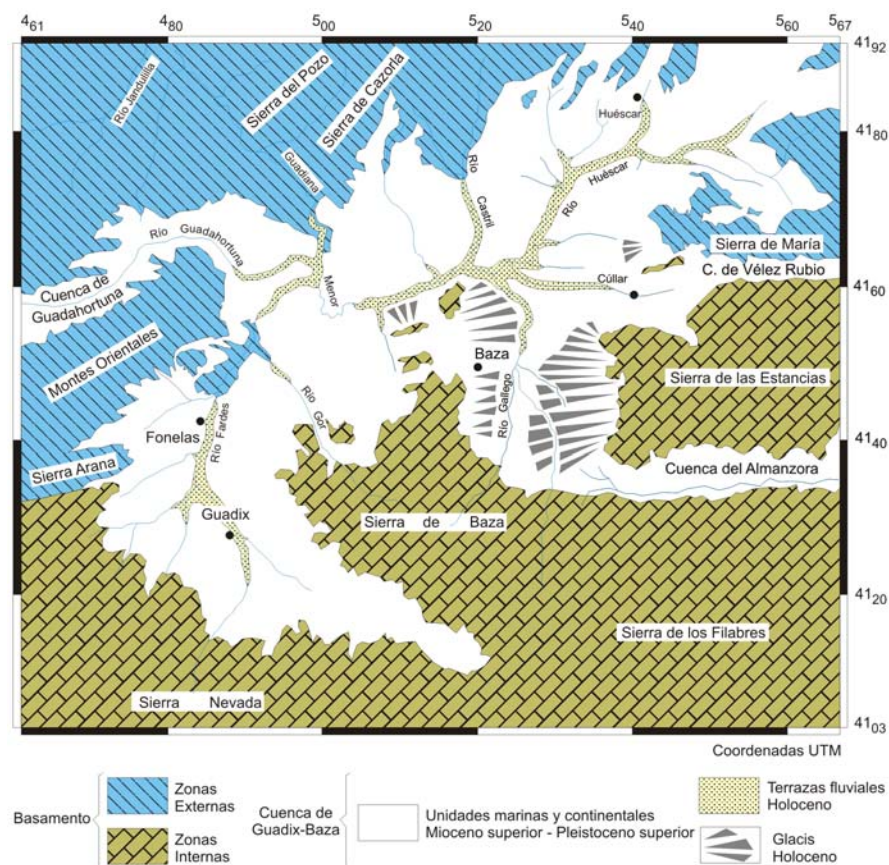


Fig. 1.- Contexto geográfico y geológico de la Cuenca de Guadix, modificada de Viseras et al., 2006, en la que se marca la posición del perfil estratigráfico FP-1.

Fig. 1.- Geographical and geological setting of the Guadix Basin, modified from Viseras et al., 2006, where the position of the FP-1 section is marked.

variaciones en la órbita terrestre en términos de cambios en el clima.

Algunas características de la sección FP-1

La sección FP-1 es un perfil estratigráfico levantado en la vertical del yacimiento paleontológico de macromamíferos denominado Fonelas Pocico-1 (FP-1). Este yacimiento tiene una notable importancia debido a su abundante contenido en restos óseos, el excelente grado de preservación de los mismos y la elevada diversidad faunística que representan (Arribas y Garrido, 2007; Garrido, 2006; Viseras *et al.*, 2006). En base a la combinación de datos biocronológicos y paleomagnéticos obtenidos en dos campañas realizadas durante el pasado año 2007, se ha obtenido una edad aproximada de 2 Ma para este yacimiento (Pla *et al.*, en prensa).

La correlación del perfil FP-1 con la escala de polaridad geomagnética ETPG2004 (Lourens *et al.*, 2004) ha permitido establecer un cálculo de las tasas de sedimentación para los distintos intervalos temporales definidos. Así, es de destacar

que a partir de la isócrona que marca el techo del cron Olduvai (1.778) se aprecia una considerable disminución de la tasa de sedimentación media, en coincidencia con un brusco cambio litológico, que se sigue bien en cartografía. Este cambio, que se continúa en otras secciones dentro del sector occidental de la cuenca en las que también se han realizado estudios de paleomagnetismo (Pla *et al.*, en prensa) que han permitido la correlación precisa con el perfil FP-1, lo atribuimos a la posición del límite entre las unidades V y VI, las dos unidades genéticas más modernas de las seis en que se ha dividido el relleno de la Cuenca de Guadix (Fernández *et al.*, 1996). Así, esta sección paleomagnética permite precisar que el marcado cambio en la tasa de sedimentación y en la distribución de los distintos sistemas sedimentarios, criterios utilizados en trabajos previos (Viseras, 1991) para el establecimiento del límite entre unidades genéticas, se produce hace 1.778 Ma, en tiempo más reciente de lo que se había considerado anteriormente (Viseras, 1991; Minwer-Barakat, 2005; Pla *et al.*, 2007a).

La separación entre las unidades genéticas V y VI marca dos tramos bien diferen-

ciados en el perfil FP-1. Los materiales del Sistema Axial de la unidad V presentan una tasa media de sedimentación elevada (5.2cm/ka) (Pla *et al.*, en prensa) y son esencialmente lutíticos y arenosos, con intercalaciones carbonatadas de poco espesor (<0.5m), mientras que en la unidad VI, con una tasa de sedimentación mucho menor (2.4cm/ka), predominan los depósitos carbonatados, en su mayoría de carácter palustre (Pla *et al.*, 2007b, 2007c), con niveles que alcanzan espesores de orden métrico.

Tanto en la unidad V como en la VI aparecen intercalados entre los materiales del SA los sedimentos propios de abanico medio-distal del STI, oscilando dichas intercalaciones entre espesores de 1 a 3 m.

Ciclicidad

En el perfil FP-1 se puede hablar de ciclicidad a distintos niveles. Por un lado, las diferencias litológicas y de tasa de sedimentación entre las unidades V y VI acompañan a un cambio en la ciclicidad de menor escala, la que afecta a la sedimentación de los materiales del Sistema Axial. Por otro, los materiales intercalados del STI presentan una ciclicidad de una escala mayor que la de los materiales del SA, pero que también se ve afectada por el cambio que marca la isócrona de separación de las unidades.

Ciclicidad en los materiales del Sistema Axial

El ciclo básico de los sedimentos atribuidos al Sistema Axial en la unidad V, cuando aparece completo, presenta una potencia que varía entre 2 y 3 metros, con granoclasificación normal. Suele presentar un contenido en carbonato creciente hacia techo, y consta de 5 niveles, que se suceden gradualmente de base a techo de la secuencia:

- Conglomerado con estratificación cruzada de tipo *épsilon* o en artesa.
- Arenisca con estratificación cruzada en artesa o planar.
- Lutita con tamaño de grano que oscila entre limo arenoso y arcilla, que puede ser masiva o presentar laminación paralela, y que frecuentemente muestra huellas de raíces y moteado por procesos de hidromorfismo.
- Calcilutita con un contenido variable en carbonato, que a veces llega a ser una marga, que suele presentar los mismos rasgos de edafización que la lutita infraciente.
- Caliza-margocaliza que normalmente suele ser de precipitación inorgánica y presenta rasgos palustres, aunque en ocasiones puede corresponder a niveles tobáceos, o en casos muy

concretos a calcretas. (Pla *et al.*, 2007b, 2007c).

Se han contabilizado un total de 42 ciclos, algunos incompletos, en materiales del Sistema Axial en la unidad V.

Los ciclos básicos del Sistema Axial en la unidad VI tienen una potencia media que oscila entre 0.5 y 1m, y son secuencias también de contenido en carbonato creciente a techo, que se componen de tres niveles (Pla *et al.*, 2007b, 2007c):

- Lutita con un contenido variable en carbonato, que según la zona puede ser una marga.

- Margocaliza con rasgos palustres.

- Caliza con rasgos palustres.

Desde el límite entre las unidades V y VI hasta el techo de la sucesión se han contabilizado 23 ciclos.

Ciclicidad en los materiales del Sistema Transversal Interno

Los ciclos en sedimentos del STI en el perfil presentan una potencia máxima de 4m. Cuando aparecen completos suelen constar, como en el caso del SA, de un conglomerado inicial que va pasando a tamaños de grano menores, hasta llegar al tamaño limo-arcilla. El total de ciclos contabilizados para las siete intercalaciones del STI en la unidad V es de 12, mientras que en la unidad VI la cifra se reduce a 7 ciclos distribuidos en las dos intercalaciones que aparecen. Aunque numéricamente el ratio de ciclos por intercalación se mantiene en un valor similar, a efectos reales los ciclos no se distribuyen de forma homogénea en las intercalaciones. Así, para los materiales del STI, en este estudio preliminar consideramos oportuno analizar únicamente la frecuencia con que se producen sus intercalaciones dentro de la llanura de inundación del Sistema Axial, en lugar de contabilizar el número de ciclos comprendidos en cada una de ellas.

Resultados y discusión

Una vez definidos los ciclos para cada tramo del perfil, se ha reflejado en una figura la correlación temporal de cada ciclo con la ETPG2004 (Fig. 2), con objeto de adjudicar a cada ciclo una duración en millones de años (Ma). La pretensión de este trabajo es caracterizar preliminarmente la ciclicidad, para plantear su posible relación con variaciones climáticas debidas a las modificaciones en la insolación propuestas por Milankovitch (1941) relacionadas con la precesión de los equinoccios (23.000 años), con cambios en la oblicuidad del eje (41.000 años) y con modificaciones en la excentricidad de la órbita de la Tierra (100.000 y 400.000 años).

Como puede verse en la figura 2, nuestros resultados gráficos, que se han contrastado con cálculos numéricos basados en la duración de cada intervalo de polaridad magnética y en el número de ciclos por intervalo, muestran una ciclicidad al menos en dos órdenes de duración temporal diferentes.

Respecto a los ciclos básicos del SA en la unidad V, es importante señalar que la división de ciclos se ha hecho en base a observaciones de campo. En muchos de los intervalos de polaridad, el espesor medio del ciclo es de 1m. Teniendo en cuenta este dato, se ha visto que en aquellos intervalos en los que predominan los materiales lutíticos, el número de ciclos determinados por metro es mucho menor que en aquellos intervalos en los que el ciclo aparece más completo. Esto se traduce en que cuando aparecen varios metros de serie predominantemente lutítica, se hace más difícil la distinción a simple vista de los ciclos, ya que no hay cambios litológicos que los pongan de manifiesto, por lo que es posible que en estos intervalos sea necesario usar métodos más precisos para determinar el número de ciclos. Como consecuencia de esta posible

imprecisión a la hora de determinar los ciclos, los datos que se proporcionan en este trabajo pueden estar infravalorando el número de ciclos, y por tanto, la duración media obtenida para los ciclos podría disminuir si se logra precisar mejor el límite entre ciclos en los intervalos lutíticos. Asimismo, en la figura 2 se aprecia cómo la distribución temporal de los ciclos no es homogénea, sino que aparecen más concentrados en determinados tramos de la serie, y más separados en otras. El hecho de calcular numéricamente las periodicidades, dividiendo la duración total del intervalo temporal entre el número total de ciclos que aparecen en él, supone no contar con esta diferencia de distribución, y por tanto los datos que se deducen de la correlación serán más fiables que los cálculos teóricos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la duración media que se ha estimado numéricamente para los ciclos del Sistema Axial en la unidad genética V ha sido de 32.300 años. En la figura 2 se ve cómo dentro de la unidad V hay intervalos en los que la periodicidad es mucho menor, de forma que tal vez podría relacionarse con la precesión (23.000años), pero en general estos ciclos

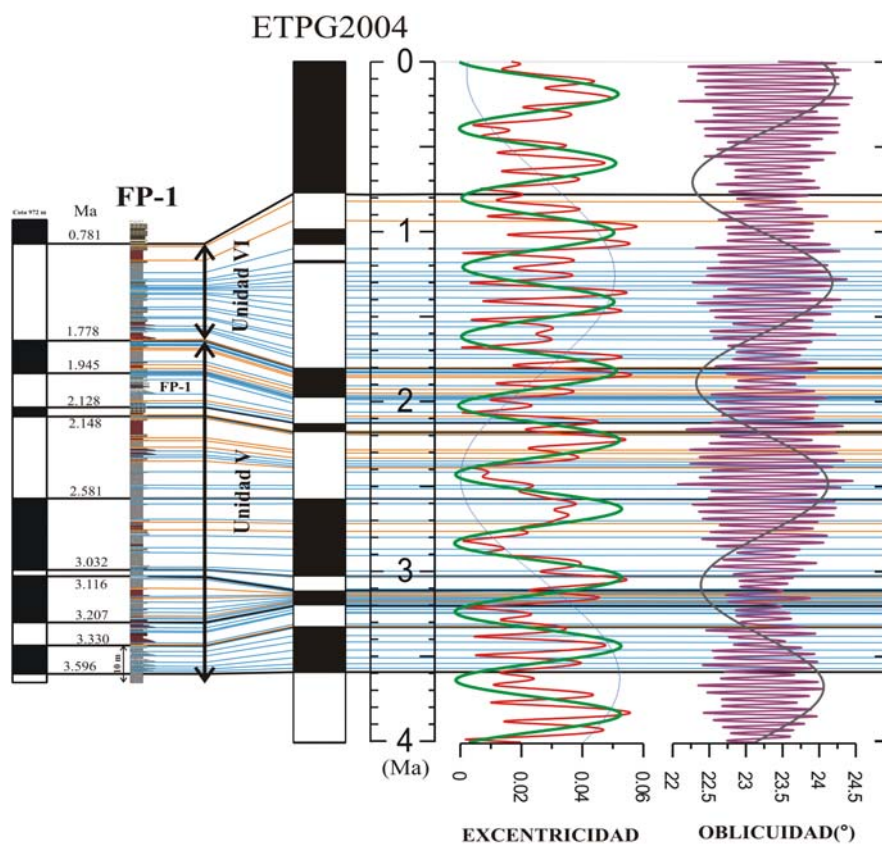


Fig. 2.- Correlación de los datos de ciclicidad y magnetoestratigrafía obtenidos para el perfil estratigráfico FP-1 con la ETPG2004 (Lourens *et al.*, 2004) y las curvas de ciclicidad astronómica para la excentricidad y la oblicuidad.

Fig. 2.- Correlation of the cyclicity and magnetostratigraphy data obtained for the FP-1 section with the GPTS2004 and the eccentricity and obliquity astronomical curves.

se ajustan mejor a la periodicidad atribuible a los cambios de la oblicuidad (41.000 años).

Respecto a la duración de los ciclos del SA en la unidad VI se ha calculado un valor de 43.900 años para cada ciclo, que en este caso coincide con la correlación representada en la figura 2, de modo que puede proponerse para estos ciclos un origen relacionado con las variaciones en la oblicuidad (41.000 años).

En cuanto a las intercalaciones del STI, a lo largo de toda la unidad V presentan por correlación con la ETPG2004 una ciclicidad muy clara del orden de los 400.000 años, atribuibles a los cambios en la excentricidad (400.000 años), aunque estas intercalaciones no tienen todas la misma potencia, y en algunas zonas aparecen varios niveles de un espesor menor muy cercanos en el tiempo. Estas intercalaciones de menor periodicidad probablemente están relacionadas con la dinámica sedimentaria propia de los abanicos aluviales, donde la sedimentación es discontinua, y esta discontinuidad puede traducirse en las facies distales en intercalaciones con los materiales del SA (Viseras y Fernández, 1994, 1995).

En la unidad VI no es coherente hablar de ciclicidad en las intercalaciones del STI porque sólo aparecen dos, separadas 615ka una de la otra.

Conclusiones

A partir de los estudios cicloestratigráficos y magnetoestratigráficos realizados, se ha determinado que existen dos órdenes de ciclicidad en los sedimentos que conforman el perfil estratigráfico levantado en la vertical del yacimiento FP-1, y que los resultados de los estudios de la ciclicidad están influenciados por las condiciones de sedimentación imperantes en la unidad genética en la que se produce el depósito de los sedimentos.

En la unidad V, se atribuye a los ciclos básicos del Sistema Axial una ciclicidad dentro del rango de periodicidad de la oblicuidad (41.000 años), teniendo en cuenta que un estudio de mayor precisión podría ayudar a la determinación de ciclos del orden de la precesión de los equinoccios (23.000 años). En esta unidad, las intercala-

ciones de los materiales del Sistema Transversal Interno en los sedimentos del Sistema Axial presentan una periodicidad de 400.000 años por ciclo, que puede interpretarse como la influencia de las variaciones periódicas en la excentricidad de la órbita terrestre.

En la unidad VI los ciclos básicos del Sistema Axial presentan una ciclicidad del rango de la que marca la oblicuidad (41.000 años), mientras que en las intercalaciones del Sistema Transversal Interno por el momento no se detecta una ciclicidad manifiesta.

Agradecimientos

Las investigaciones desarrolladas en el Proyecto Fonelas son financiadas por los proyectos del IGME 2001016 y 2005009, y por el Proyecto General de Investigación de la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía. Este trabajo también forma parte de los resultados del Proyecto CGL2005-06224/BTE y del Grupo de Investigación RNM 163 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Abdul Aziz, H., Hilgen, F.J., Krijgsman, W., Sanz, E. y Calvo, J.P. (2000). *Earth and Planetary Science Letters*, 177, 9-22.
- Abdul Aziz, H., van Dam, J., Hilgen, F.J. y Krijgsman, W. (2004). *Earth and Planetary Science Letters*, 222, 243-258.
- Arribas, A. y Garrido, G. (2007). *Comptes Rendus Palevol*, 6, 545-555.
- Deino, A.L., Kingston, J.D., Glen, J.M., Edgar, R.K. y Hill, A. (2006). *Earth and Planetary Science Letters*, 247, 41-60.
- Fernández, J., Soria, J.M. y Viseras, C. (1996). En: *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.). Cambridge University Press, 353-365.
- Garrido, G. (2006). *Paleontología sistemática de grandes mamíferos del yacimiento del Villafranquiense superior de Fonelas P-1 (Cuenca de Guadix, Granada)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 726 p.
- Krijgsman, W., Langereis, C.G., Daams, R. y Van der Meulen, A.J. (1994). *Earth Planetary Science Letters*, 128, 513-526.
- Krijgsman, W., Delahaije, W., Langereis, C.G. y de Boer, P.L. (1997). *Geophysical Research Letters*, 24, 1027-1030.
- Lourens, L., Hilgen, F.J., Shackleton, N.J., Laskar, J. y Wilson, D. (2004). En: *A Geological Time Scale 2004* (F.M. Gradstein, J.G. Ogg y A.G. Smith, Eds.). Cambridge University Press, 409-440.
- Milankovitch, M. (1941). *Royal Serbian Academy Special Publications*, 133, 1-633.
- Minwer-Barakat Requena, R. (2005). *Roeedores insectívoros del Turoliense superior y el Plioceno del sector central de la Cuenca de Guadix*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 549p.
- Pla, S. (2006). *Boletín Geológico y Minero*, 117, núm. Especial, 483-489.
- Pla, S., Viseras, C., Arribas, A. y Soria, J.M. (2006). *Geo-Temas*, 9, 197-200.
- Pla, S., Viseras, C., Soria, J.M. y Arribas, A. (2007a). *Geogaceta*, 43, 103-106.
- Pla, S., Yébenes, A., Soria, J.M. y Viseras, C. (2007b). *Geogaceta*, 43, 107-110.
- Pla, S., Yébenes, A., Viseras, C., Soria, J.M. y Arribas, A. (2007c). En: *25th IAS Meeting of Sedimentology*, Patras, Grecia. Book of Abstracts, 144.
- Pla, S., Viseras, C., Soria, J.M., Garcés, M., Beamud, E., García, J.A. y Arribas, A. (en prensa). *Geo-Temas*, 10.
- Steenbrink, J., van Vugt, N., Kloosterboer-van Hoeve, M.L. y Hilgen, F.J. (2006). *Earth and Planetary Science Letters*, 181, 161-173.
- Viseras, C. (1991). *Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 325p.
- Viseras, C. y Fernández, J. (1994). *Sedimentary Geology*, 88, 201-217.
- Viseras, C. y Fernández, J. (1995). *Geologie en Mijnbouw*, 74, 21-33.
- Viseras, C., Soria, J.M. y Fernández, J. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 576-581.
- Viseras, C., Soria, J.M., Fernández, J. y García García, F. (2005). *Geophysical Research Abstracts*, 7, 11123-11127.
- Viseras, C., Soria, J.M., Durán, J.J., Pla, S., Garrido, G., García García, F. y Arribas, A. (2006). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242, 139-168.